

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

**Výzkum vlivu povrchové úpravy TPV těsnění na otěr laku
karoserie vozu**

**Research of the influence surface finishing TPV sealing to
abrasion of car body paint**

KMT – B – 190

Jan Hušek

Vedoucí práce: doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.
Konzultant: Ing. Stanislav Žák, MBA

Počet stran: 41
Počet tabulek: 9
Počet obrázků: 55
Počet grafů: 3
Počet příloh: 11

Datum 12.5.2012

ANOTACE

STUDIJNÍ PROGRAM:	Strojírenství
OBOR:	Materiály a technologie
ZAMĚŘENÍ:	Materiálové inženýrství
AUTOR:	Jan Hušek
TÉMA PRÁCE:	Výzkum vlivu povrchové úpravy TPV těsnění na otěr laku karoserie vozu
ČÍSLO PRÁCE:	KMT
VEDOUCÍ PRÁCE:	doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.
KONZULTANT:	Ing. Stanislav Žák, MBA (Henniges Hranice, s.r.o.)

Bakalářská práce se zabývá vlivem materiálového složení těsnících jazyků na otěr laku karoserie vozu. Jejím účelem je určit metodiku zkoušení materiálových vzorků na vibračním zařízení (dále jen shaker), výběr vhodné povrchové úpravy a struktury těsnících jazyků, které jsou v kontaktu s karoserií.

Teoretická část obsahuje rozbor základních pojmů z oblasti polymerů. Popis materiálových vlastností termoplastického elastomeru (dále jen TPE) v porovnání s klasickými elastomery na bázi kaučuku. Vysvětlení pojmu termoplastický vulkanizát (dále jen TPV) a jeho použití v těsnících systémech v automobilovém průmyslu. Konečně pak pojednává o užívaných povrchových úpravách určených ke snížení tření těsnících jazyků, které jsou v kontaktu se sklem, nebo karoserií automobilu.

Experimentální část popisuje postup při navrhování a realizaci zkoušky na shakeru. První část je věnována stadiu pretestů. Postupnému ladění konfigurace zkoušky tak, aby bylo docíleno co nejreálnějších podmínek. Je zde vysvětleno a ukázáno na konkrétních příkladech, jak se na základě vstupů z reálných situací a zkušeností upravovaly okrajové podmínky zkoušky, až k finální podobě. Druhá část se zabývá samotným průběhem zkoušení a vyhodnocování výsledků.

Klíčová slova: TPV, shaker, slip-coat, flock

ANNOTATION

STUDY PROGRAMME:	Mechanical Engineering
STUDY DISCIPLINE:	Materials and Technologies
STUDY DIRECTION:	Material Engineering
AUTHOR:	Jan Hušek
THEMA OF WORK	Research of the influence surface finishing TPV sealing to abrasion of car body paint
WORK NUMBER:	
WORK LEADER:	doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.
CONSULTER:	Ing. Stanislav Žák, MBA (Henniges Hranice, s.r.o.)

The bachelor work deals with the influence of sealing lips material structure to abrasion of car body paint. The goal is to define testing methodic of material samples on the vibrating equipment (shaker) and to choose suitable surface finishing and material structure of lips in contact with car body.

Theoretic part contains explanation of elementary terms about polymers. The description of thermoplastic elastomer (TPE) material properties and comparison with classical elastomers based on caoutchouc. Explanation of the term thermoplastic vulcanisate (TPV) and its application in sealing systems in automotive. Finally describes surface finishing methods destined to reduce friction of sealing lips in contact with glass or car body.

Experimental part describes process proposing and realisation tests on shaker. The first part is determined for pre-test stage. Consecutive tuning the test configuration to get as most realistic conditions as possible. There is explained and shown on specific examples corrections of boundary conditions to finally form based on inputs from real situations and experience. The second part is about own course of testing and results evaluation.

Key words: TPV, shaker, slip-coat, flock

OBSAH

1.	ÚVOD.....	9
2.	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1.	Základní makromolekulární pojmy	10
2.1.1.	Polymer	10
2.1.2.	Monomer.....	10
2.2.	Termoplastické elastomery – TPE.....	10
2.2.1.	Charakteristika struktury, výroba a vlastnosti.....	10
2.2.1.1.	Mechanické vlastnosti TPE.....	11
2.2.2.	TPE na bázi blokových kopolymerů	12
2.2.2.1.	TPE-S (SBC) styrenové blokové kopolymery	12
2.2.2.2.	Další přísady používané v materiálech TPE-S.....	13
2.2.2.3.	Multiblokové kopolymery.....	13
2.2.3.	TPE na bázi polymerních slitin	13
2.3.	Termoplastické vulkanizáty – TPV	14
2.3.1.	Výroba TPV	14
2.3.1.1.	Výhody TPV vůči slitinám s nesetřovanou měkkou fází	14
2.3.1.2.	Materiály pro výrobu TPV s největším komerčním významem	15
2.3.2.	Dynamická vulkanizace	15
2.3.2.1.	Fázová rovnováha dle Ultrackima	15
2.3.2.2.	Fázová rovnováha dle De Boera a Webera	15
2.3.3.	Morfologie TPV	16
2.3.4.	Základní parametry TPV.....	17
2.3.5.	Využití TPV jako materiálu pro těsnicí systémy v automotive	17
2.3.5.1.	Využití TPE (TPV) o různých tvrdostech	18
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
3.1.	Problematika.....	20
3.2.	Pretesty	20
3.2.1.	Volba partnerů pro výzkum	20
3.2.2.	Vzorky TPV	20

3.2.3.	Pretest 1.....	21
3.2.3.1.	Průběh zkoušky.....	22
3.2.3.2.	Způsob hodnocení.....	22
3.2.3.3.	Vyhodnocení pretestu 1	23
3.2.3.4.	Podněty k řešení vyplývající z pretestu 1.....	23
3.2.4.	Pretest 2.....	24
3.2.4.1.	Analýza vibračního profilu	24
3.2.4.2.	Průběh zkoušky.....	25
3.2.4.3.	Vyhodnocení pretestu 2	25
3.2.4.4.	Podněty k řešení vyplývající z pretestu 2.....	25
3.2.5.	Pretest 3.....	25
3.2.5.1.	Průběh zkoušky.....	26
3.2.5.2.	Vyhodnocení pretestu 3	26
3.3.	Testy	27
3.3.1.	Poznatky z pretestů, otázky k řešení	27
3.3.2.	Návrh a konstrukce zkušebního přípravku.....	28
3.3.3.	Příprava TPV vzorků	30
3.3.4.	Test I	31
3.3.4.1.	Průběh testu.....	32
3.3.4.2.	Vyhodnocení testu I	34
3.3.5.	Test II.....	34
3.3.5.1.	Vyhodnocení testu II.....	36
4.	HODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ	36
4.1.	Vyhodnocení pretestů.....	36
4.1.1.	Pretest 1.....	36
4.1.2.	Pretest 2.....	37
4.1.3.	Pretest 3.....	37
4.2.	Vyhodnocení testů.....	37
4.2.1.	Test I	37
4.2.2.	Test II.....	38

5.	ZÁVĚR.....	39
6.	POUŽITÁ LITERATURA.....	40
7.	SEZNAM PŘÍLOH	41

1. ÚVOD

V současné době čím dál více roste tlak na průmyslové podniky, aby snižovaly negativní vliv výroby na životní prostředí. V oblasti výroby těsnících systémů pro automobilový průmysl se ukázala jako vhodná cesta nahrazení tradičních zesíťovaných elastomerů novými materiály s označení termoplastické elastomery. Materiál s užitnými vlastnostmi pryže a zpracovatelskými vlastnostmi termoplastu si rychle našel místo na trhu a již dnes je hojně využíván v celé řadě technických aplikací.

Počáteční nevýhoda TPE ve vyšší ceně oproti původním elastomerům s rostoucí cenou kaučuku na světových trzích stále klesá. S velkou pravděpodobností se v příštích letech poměr zvrátí v neprospěch zesíťovaných elastomerů. Avšak neporovnatelně nižší ekologická zátěž při výrobě a hlavně možnost recyklace hraje ve prospěch TPE již dnes.

S novými materiály, přišly i nové možnosti jak lze snižovat koeficient tření povrchu těsnění v kontaktu se sklem, nebo s lakem karoserie. Původní nákladná metoda flockování (sametování) v nich získala silnou konkurenci. Avšak stále je celá řada neprobádaných oblastí a problematik, které je třeba definovat a vyřešit.

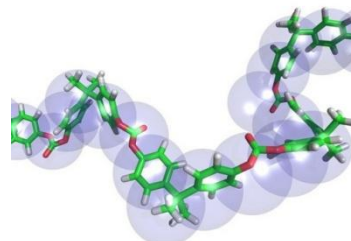
Tato práce má za cíl právě jeden z těchto problémů. Jednak určit vhodnou metodiku testování různých materiálových složení jazyků dynamického těsnění, které jsou v kontaktu s lakem karoserie. A také ověřit funkčnost navržené metodiky na konkrétním porovnávacím testu.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Základní makromolekulární pojmy

2.1.1. Polymer

Je látka tvořená makromolekulami, pro které je charakteristické mnohonásobné opakování jednoho nebo více druhů atomů nebo skupin atomů (tzv. konstitučních jednotek) navzájem spojených v tak velkém počtu, že existuje řada vlastností, které se znatelně nezmění přidáním, nebo odstraněním jedné, nebo několika konstitučních jednotek [1].



Obr.1: Polymer, zdroj [6]

Polymer vznikne tzv. polyreakcí - tj. proces, v jehož průběhu se monomer, nebo směs monomerů přeměňuje na polymer. V praxi jsou polyreakce obvykle děleny na polymeraci, polyadici a polykondenzaci. Polymerace je řetězová reakce založená na vzájemném navazování molekul obsahujících nenasycené vazby zejména $C=C$. Jednotlivé fáze polymerace (iniciace, propagace, terminace) se podstatně liší v reakční rychlosti a mechanismu. Polyadice a polykondenzace jsou stupňové polyreakce tzn. iniciace, propagace a terminace jsou z hlediska reakční rychlosti a mechanismu v podstatě identické reakce [2].

2.1.2. Monomer

Je sloučenina tvořená molekulami, z nichž každá může poskytnout jednu nebo více konstitučních jednotek [1].

2.2. Termoplastické elastomery – TPE

2.2.1. Charakteristika struktury, výroba a vlastnosti

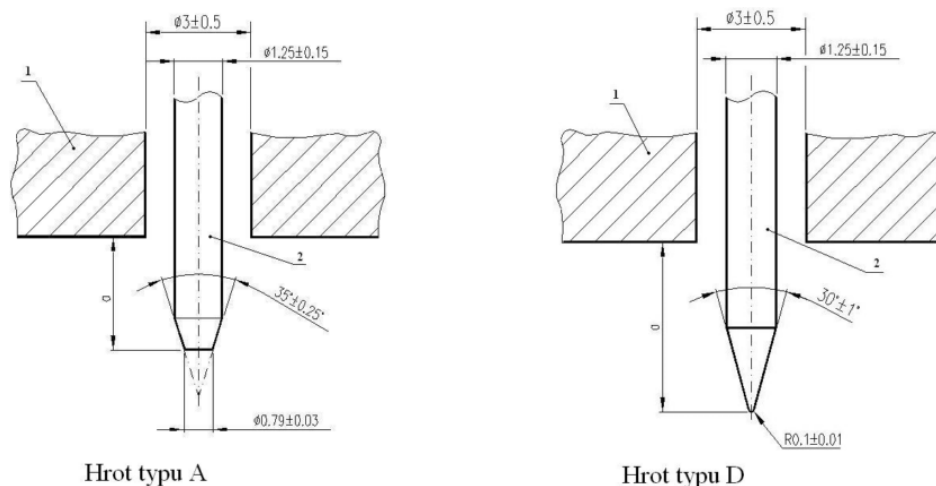
Jedná se o kombinaci tvrdé fáze s termoplastickými vlastnostmi (např. PP) a měkké fáze s charakterem podobným elastomerům (např. EPDM).

Způsob výroby termoplastických elastomerů se zakládá na intenzivním míchání dvou polymerů se silně rozdílnými vlastnostmi. Vzniknou tak dvě fáze, z nichž kontinuální je tvrdá fáze vykazující termoplastické vlastnosti a diskontinuální fází jsou měkké kaučukové, nebo elastomerní částice. Materiály se zesíťovanou elastomerní částí nazýváme termoplastický vulkanizát (dále jen TPV). Polotovarem pro další zpracování takto získaného materiálu je obvykle granulát, nebo prášek. TPE lze zpracovat jakoukoliv technologií určenou pro termoplasty. Nejběžnější je vytlačování a vstřikování.

Dalším způsobem výroby TPE je kopolymerace. Jedná se o kombinaci různých monomerů při polymeraci, takže ve výsledku obdržíme molekulové řetězce s určitou blokovou strukturou. Vlivem vzájemné nesnášenlivosti mezi různými bloky dojde k separaci

fází (segregaci), přičemž vznikne opět tvrdá a měkká fáze. Problematika blokových kopolymerů je popsána v dalším textu [3].

Podíl měkké a tvrdé fáze ovlivňuje zejména výslednou tvrdost TPE. Ta je u plastů měřena Shoreho metodou. Jedná se o vnikací zkoušku. Podobně jako u Rockwellovy metody pro kovy, je do zkoušeného materiálu vtlačován hrot, v tomto případě válcový. Pro měkčí materiály se používá tupý hrot s označením A. Takto naměřená tvrdost se značí ShoreA a nachází uplatnění zejména u materiálů s vlastnostmi pryže. Pro tvrdší plasty je používán hrot se špičkou značený D. Tvrdost se pak adekvátně značí ShoreD [4].

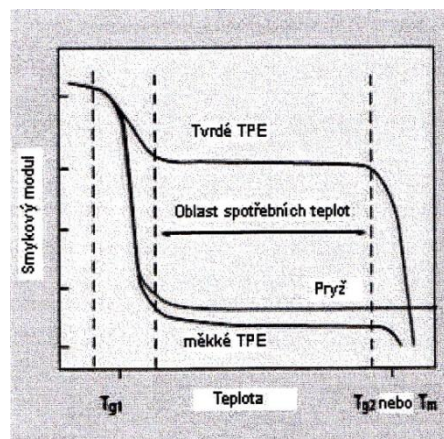


Obr.2: Shoreho měření tvrdosti, zdroj [4]

Typy od velmi měkkých (<20 Shore A) až po relativně tvrdé (cca 80 Shore D) je pokryta celá oblast obvyklých elastomerů a překlenuta mezera k termoplastům. Využití TPE (TPV) o různých tvrdostech bude v dalším textu ukázáno na složení těsnícího profilu vedení skla automobilu

2.2.1.1. Mechanické vlastnosti TPE

Mechanické vlastnosti TPE vyplývají z dvoufázové struktury, která je nepřímo rozpoznatelná z průběhu závislosti smykového modulu na teplotě. Obě fáze jsou si schopny podržet svoje příslušné oblasti tavení, případně teploty skelného přechodu, vlivem toho dojde během zmíněných teplot k markantním změnám smykového modulu, nebo tlumení (viz graf 1).



Graf1: Závislost smykového modulu na teplotě, zdroj [3]

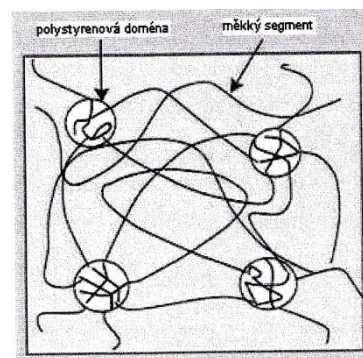
Pod teplotou skelného přechodu T_{g1} měkké fáze se materiál chová jako tuhý a křehký. Nad touto přechodovou teplotou, ale pod teplotou skelného přechodu T_{g2} , nebo nad teplotou tavení T_m tvrdé fáze se nachází materiál v entropoelastickém stavu (v současné době se jedná o nejčastěji využívanou uživatelskou oblast). Nad T_{g2} (případně T_m) je materiál schopný toku a může se zpracovávat stejně jako běžné termoplasty. V této oblasti je nejmarkantnější rozdíl mezi TPE a chemicky zesíťovanými elastomery. Zde neexistuje žádná oblast toku, ale modul pružnosti zůstává až do teploty rozkladu přibližně konstantní. Tento fakt má za důsledek zejména problematické vstřikování zesíťovaných elastomerů. Je třeba vyvinout mnohem vyšší vstřikovací tlaky než u TPV. Konkrétním příkladem je enkapsulace pevného skla zadních, bočních dveří automobilu. Uzavírací síly, které zajišťují těsnost formy, způsobují poškození skla mnohem častěji v případě použití zesíťovaného elastomeru (EPDM), než při použití TPV [3].

2.2.2. TPE na bázi blokových kopolymerů

Blokové kopolymery jsou tvořeny kombinací polystyrénových a elastomerních bloků, které jsou nekompatibilní a tvoří tudíž oddělené fáze. Polystyren reprezentuje tvrdou fázi ($T_g \sim 100^\circ\text{C}$) a elastomerní bloky měkkou fázi ($T_g \sim -60^\circ\text{C}$ až -90°C). Ve většině případů se vyskytují triblokové kopolymery (styren-elastomer-styren). Známe však i diblokové kopolymery s rozvětvenou strukturou řetězců [3].

2.2.2.1. TPE-S (SBC) styrenové blokové kopolymery

V případě styrenových blokových kopolymerů je elastomerní fáze dominantní a tvoří tzv. měkkou matici. Polystyrenové koncové bloky tvoří kulovité tvrdé domény, které jsou dispergovány v měkké matici. Tvrdá fáze tvoří uzly sítě, které zastávají funkci plniva.



Na základě prostorového rozložení polystyrenových domén se jeví styrenové blokové kopolymery, narozdíl od ostatních druhů TPE, jako transparentní a užívají se k výrobě fólií.

Obr.3: Morfologie TPE-S,
Zdroj [3]

Ve většině TPE-S materiálů však není obsažen jen základní polymer. K nastavení požadovaných vlastností se používají mnohé přísady [3].

2.2.2.2. Další přísady používané v materiálech TPE-S

Vedle plniv, změkčovadel, stabilizátorů je často přidáván polypropylen jako další termoplastická složka. Při správném dávkování tvoří polypropylen kontinuální fázi. To má za následek zvýšení tvrdosti a zlepšení mechanicko-tepelných vlastností nad 100°C. Příkladem materiálu, který obsahuje tzv. ko-kontinuální PP fázi je SEBS/PP. Relativně omezená tepelná odolnost TPE-S, která vyplývá z teploty skelného přechodu polystyrenové fáze, může být také zlepšena polyfenylenéterem (PPE). Čistý PPE vykazuje teplotu skelného přechodu cca 215°C a je s polypropylenem plně mísitelný [3].

2.2.2.3. Multiblokové kopolymery

Multiblokové kopolymery mají komplexnější strukturu než styrenové blokované kopolymery.

Tvrdé segmenty jsou zpravidla krystalické, zatímco měkké segmenty tvoří amorfní oblasti. Krystalinita tvrdých segmentů předpokládá pravidelnou blokovou strukturu, zatímco měkké segmenty jsou tvořeny nepravidelným uspořádáním základních jednotek, aby se zabránilo krystalizaci. Pro dosažení dobrých elastomerních

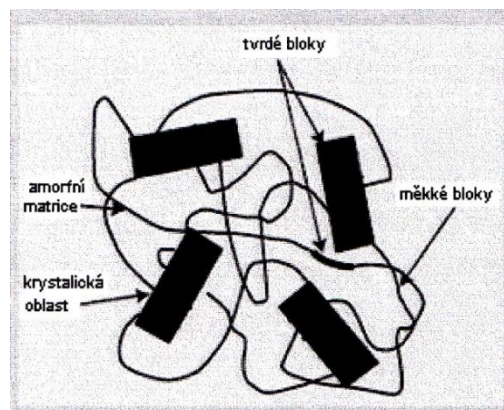
vlastností musí teplota T_g ležet pod 0°C. Krystalické tvrdé segmenty tvoří síťovanou strukturu, která je vložena do amorfní měkké fáze.

Struktura výsledného materiálu je sice síťová, ale tepelně reverzibilní, tudíž při zvýšené teplotě je materiál schopný toku. Během ochlazování dostaneme opět síťovou strukturu s elastomerními vlastnostmi.

Termoplastický polyuretan je jedním z nejběžnějších reprezentantů multiblokového kopolymery. Byl vyvinut mezi lety 1955-1960, tudíž daleko dříve než byl vůbec pojem TPE vymezen. TPE na bázi polyuretanů, polyesterů a polyamidů mají několik společných rysů. Tvrdosti těchto materiálů leží obvykle >70 ShoreA a jsou řízeny poměrem měkkých a tvrdých segmentů. Pevnost a strukturní pevnost jsou relativně vysoké. Kromě toho disponují tyto materiály relativně vysokými uživatelskými teplotami a jsou odolné vůči olejům a tukům [3].

2.2.3. TPE na bázi polymerních slitin

V případě polymerních slitin je tvrdý termoplastický polymer kombinován s měkkým elastomerem.



Obr.4: Morfologie multiblokového kopolymery, zdroj [3]

Nejjednodušší případ polymerních slitin je výroba jejich směsí. Podstatně lepších mechanických vlastností však dosáhneme prostřednictvím tzv. dynamické vulkanizace. Největší význam mají v této skupině slitiny na bázi polypropylenu.

Většina polymerních slitin se vyrábí pomocí dvoušnekového vytlačovacího stroje. Speciálním případem jsou tzv. reaktorové slitiny, u nichž míchací proces probíhá již při polymeraci v reaktoru.

Při převaze tvrdé fáze získáme disperzní měkkou fázi. Mechanické vlastnosti primárně ovlivňuje tvrdá fáze. Měkká fáze se projevuje růstem houževnatosti.

Opačný případ je disperze tvrdé fáze v měkké fázi, ta ale neposkytuje v technické praxi využitelný materiál. Byl tedy prozatím vytvořen jen pro laboratorní účely [3].

2.3. Termoplastické vulkanizáty – TPV

2.3.1. Výroba TPV

Při výrobě TPV se jedná o proces míchání tvrdého termoplastu s nejprve nesesítovaným kaučukem ve dvoušnekovém vytlačovacím stroji - tím se nastaví tzv. ko-



Obr.5: Granulát TPV, zdroj [7]

kontinuální fázová morfologie. Vlivem smykového tření dojde k zesítování kaučukové fáze. Tento proces je označován jako dynamická vulkanizace. Sítováním kaučuku a současně působícím smykovým namáháním se rozpadá předtím ještě tekutá ko-kontinuální měkká fáze na jemně rozdělené elastomerní částice, které již

nejsou tekuté, ale jsou zato vysoce elastické. Ze zkušenosti lze tvrdit, že se zmenšujícími se elastomerními částicemi rostou mechanické vlastnosti TPV [3].

2.3.1.1. Výhody TPV vůči slitinám s nesesítovanou měkkou fází

- Podíl elastomerní fáze může být zvýšen, což umožňuje vytvořit měkké TPE s dobrými mechanickými vlastnostmi
- Sítováním měkké fáze se zlepší odolnost proti olejům a pohonným hmotám
- Relaxační a creepové chování, jakož i návratnost do původního stavu, jsou podstatně lepší než u polymerních slitin s nesesítovanou měkkou fází [3].

2.3.1.2. Materiály pro výrobu TPV s největším komerčním významem

Mezi materiály s největším komerčním významem patří v první řadě kombinace polypropylenu a elastomeru EPDM. Důvodem této kombinace je podmíněná snášenlivost těchto materiálů, kterou lze dosáhnout jemné disperze. Slabší stránkou materiálové kombinace je nepolární charakter elastomerní fáze což zapříčiňuje nižší odolnost vůči olejům. Nicméně použití těchto materiálů např. na těsnění skel zpravidla vyžaduje odolnost vůči UV záření, barevnou stálost apod. Do dlouhodobého kontaktu s oleji se nedostanou.

Prvním průmyslově vyráběným TPV byl v roce 1981 Santoprene od firmy Monsanto, který se vyrábí dodnes. Jedná se o výše popisovanou směs polypropylenu a EPDM (etylen-propylen-dienový kaučuk). Kaučuk dispergovaný v PP vytváří částice o velikosti 1 až 5 μm [3].

2.3.2. Dynamická vulkanizace

Dynamická vulkanizace je speciální způsob míchání taveniny, který byl vyvinut Gesslerem a Fischerem v roce 1978. Má několik stupňů. Prvním krokem je roztavení termoplastu, do kterého se poté v malých dávkách přidává kaučuk. Pro získání správné morfologie směsi má zásadní úlohu způsob míchání. V praxi se běžně používá speciální míchací stroj pro každou jednotlivou směs. Proces lze rozdělit na několik etap: příprava komponentů (sušení, ohřev apod.), předběžné míchání (suché míchání, homogenizace), vlastní míchání a odplynění.

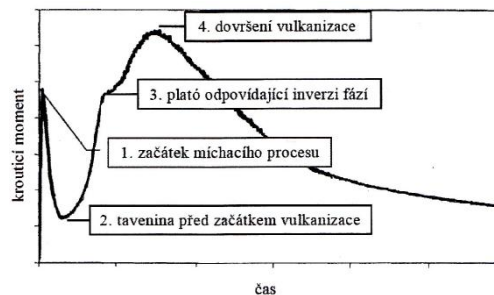
Kaučuk a termoplast jsou vzájemně nesnášenlivé materiály. Jejich směsi mohou mít diskrétní, nebo ko-kontinuální fázovou strukturu. Na problém fázové rovnováhy TPV existují dva názory.

2.3.2.1. Fázová rovnováha dle Ultrackima

Jedním pohledem je tzv. fázová rovnováha podle Ultrackima, která posuzuje dvoufázové taveniny polymerů jako emulze. Mechanismus změn fázové struktury závisí na poměru viskozity, objemovém poměru složek a úrovni namáhání. Princip tedy spočívá ve stanovení zmíněného poměru, po jehož dosažení je při stálém namáhání fázová inverze neodvratná [3].

2.3.2.2. Fázová rovnováha dle De Boera a Webera

Druhým pohledem je fázová rovnováha podle De Boera a Webera, který považuje vznik



Graf2: Průběh krouticího momentu na rotorech míchacího stroje, zdroj [3]

fázové struktury za důsledek slučování a rozbíjení kapek roztavených polymerů během míchání. Fázová inverze pak záleží na poměru rychlostí obou procesů. Tento názor má experimentální základ. Při míchání se totiž nejdříve formují dlouhá vlákna. Ta při malé úrovni napětí koagulují v poměrně velké kapky. Je-li úroveň napětí vyšší než kritická hodnota, vlákna se rozpadnou na poměrně malé částice. Při určité úrovni napětí existuje určitá nejmenší velikost kapek - další namáhání způsobuje pak už jen jejich deformaci. Pro formování diskrétní fázové struktury je nezbytné, aby čas koagulace byl delší než čas rozpadu kapek polymeru ve směsi [3].

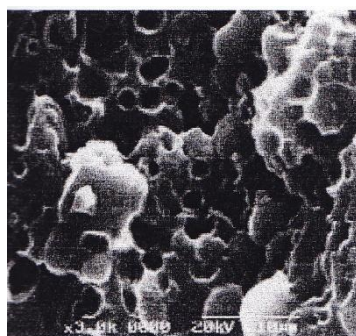
Po zformování fázové struktury přichází na řadu samotná vulkanizace. Její průběh se kontroluje krouticím momentem na rotorech míchacího stroje, nebo spotřebou energie.

V grafu 2 je znázorněna časová závislost krouticího momentu. Z jejího tvaru lze vyčíst jednotlivé etapy procesu v průběhu dynamické vulkanizace.

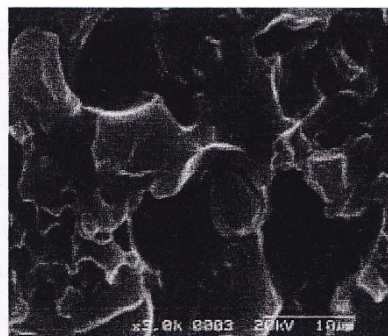
V průběhu tavení a homogenizace komponentů krouticí moment klesá a dosáhne minima při dosažení rovnovážné struktury taveniny (nebo, je-li vulkanizační činidlo přidáno spolu s ostatními složkami, před začátkem síťovací reakce). S postupující vulkanizací začne viskozita směsi stoupat, krouticí moment také a po určitém růstu dosáhne plata. To odpovídá fázové inverzi, ale jen v případě, nebyl-li kaučuk před začátkem vulkanizace ještě v disperzní fázi, anebo vulkanizace skončila dříve, než byla dosažena minimální velikost domén TPV pro daný systém. K fázové inverzi dochází stoupáním viskozity kaučuku vlivem vulkanizace, která je tím výraznější, čím více kaučuku ve směsi je. V bodě fázové inverze jsou domény kaučuku natolik tuhé, že míchací stroj už nerozrušuje kapky kapaliny, ale drtí částice pryže. Maximum křivky značí dovršení vulkanizace. Výška maxima přímo souvisí s koncentrací termoplastu. Čím je jeho koncentrace větší, tím je maximum krouticího momentu nižší. Potom křivka začne klesat, až se na určité úrovni ustálí [3].

2.3.3. Morfologie TPV

TPV jsou mikroheterogenní směsi, kde matici tvoří termoplast a disperzi vulkanizovaný kaučuk. Jemné disperze může být dosaženo za podmínky poměrně blízkých hodnot povrchového napětí kaučuku a termoplastu. V důsledku nesnášenlivosti matrice a disperze zde dochází ke změně rozložení molekulových hmotností v hraničních vrstvách a velkému vnitřnímu napětí v důsledku velkého rozdílu koeficientů roztažnosti. Ke snížení povrchového napětí v hraniční vrstvě prostřednictvím zabránění slučování kapek slouží tzv. kompatibilizátory. Běžně to jsou blokové nebo roubované kopolymery obsahující polární a nepolární části. Používaným činidlem je např. chlorovaný polyetylen. K určování stanovení snášenlivosti polymerů se používá diferenciální snímací kalorimetrie (DSC) [3].



Obr.6: Dynamicky vulkanizovaná směs kompatibilizovaná chlorovaným polyetylenem, zdroj [3]



Obr.7: Dynamicky vulkanizovaná směs nekompatibilizovaná, zdroj [3]

2.3.4. Základní parametry TPV

Tabulka 1: Základní parametry zkoušeného TPV materiálu, zdroj [3]

Vlastnosti	Rozpětí hodnot
Hustota [g cm^{-3}]	0,94 až 0,97
Modul pružnosti v tahu [MPa]	40 až 900
Pevnost v tahu [MPa]	2 až 30
Tažnost [%]	200 až 600
Trvalá deformace [%]	6 až 60
Rázová houževnatost Charpy [kJ m^{-2}]	>20
Tvrdost, Shore	28A až 65D
Teplota použití [$^{\circ}\text{C}$]	-60 až 130
Měrný povrchový odpor [$\Omega \text{ m}$]	10^{12} až 10^{15}
Nasákavost (za 24h při 23°C a relativní vlhkosti 50%) [%]	0,1

2.3.5. Využití TPV jako materiálu pro těsnicí systémy v automotive

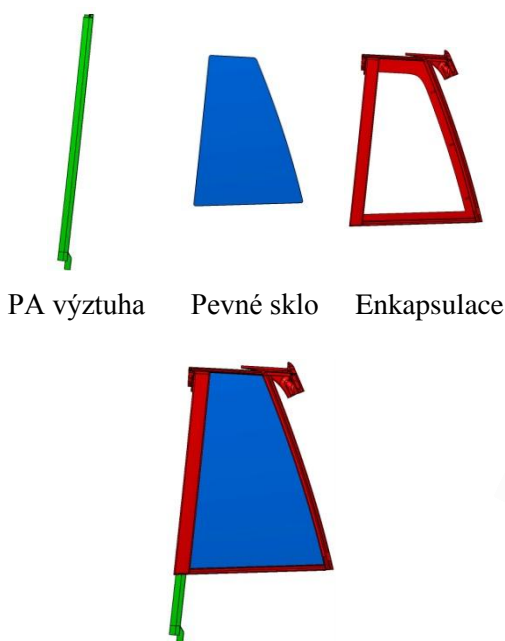
TPV nabízí proti klasickým elastomerům dvě zásadní výhody. Jednak možnost zpracování technologiemi určenými zejména termoplastům, jako je vstřikování a v neposlední řadě, v současné době často zmiňovaná, ekologičnost výroby. Proces vytlačování těsnících profilů z TPV je nesrovnatelně „čistší“ než výroba týchž profilů z EPDM. Navíc tyto výrobky lze z velké části recyklovat. Samotná recyklace je sice komplikována faktem, že např. těsnící profily jsou ve většině případů koextrudované, takže nelze celý díl bez úprav znovu rozemlít a roztavit, ale s tím se počítá už při konstrukci dílů. Rozložení materiálových oblastí se navrhuje tak, aby šly před recyklací od sebe oddělit. Při výrobě vzniká značný odpad, zejména při najíždění nové extruze a poté při dělení extrudátu.

Je to způsobeno mimo jiné rostoucími požadavky zákazníku na používání tzv. tvarových seků.

Těchto výhod se v posledních letech začalo využívat u těsnících systémů karoserie osobních automobilů. Doposud bylo k těmto účelům využíváno výhradně EPDM.

2.3.5.1. Využití TPE (TPV) o různých tvrdostech

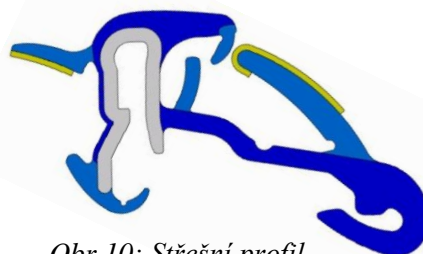
Vedení skla (obr.11) předních dveří je díl, který je složen ze 3 typů koextrudovaných profilů, které jsou navzájem spojeny vstřikovanými tvarovými spoji. Spojované profily jsou najednou vloženy do formy a zastříknuty dohromady určitým množstvím TPV. Speciálním případem je tzv. enkapsulace pevného skla kde je vstřikováním spojeno pevné sklo a výztuha dělicího sloupku viz rozpadový obrázek 8.



Obr.8: Enkapsulace pevného skla



Obr.9: Vedení skla předních dveří



Obr.10: Střešní profil

Těsnící jazyky – TPV 55ShA
 Pohledové a nosné oblasti - TPV 75ShA
 Povrchová úprava - flocking
 Výztuha - PP

Základ střešního profilu má nosnou funkci, a proto je z TPV tvrdosti 75ShA. Rovněž pohledové části těsnění bývají z tvrdšího materiálu. To je odůvodněno větším podílem termoplastu v TPV. Tím je docíleno větší homogenity a kvalitnějšího povrchu, než při velkém podílu kaučuku.

Těsnící jazyky musí dokonale dolehnout k těsněné ploše, proto mají tvrdost 55ShA. Výztuha profilu je polypropylenová (někdy s hliníkovým páskem). Jazyky jsou opatřeny kluznou vrstvou. Jedná se buď o tzv. flocking, nebo slip-coating. Úkolem obou typů kluzných vrstev je snížit frikční koeficient povrchu těsnění. Ten je významný pro stykové

plochy se spouštěcím sklem, kde hraje přední roli v otázce spouštěcích sil a také v kontaktu s lakovanými plechy karoserie, kde nesmí docházet k poškození laku, nebo naopak „namazání“ těsnění na plech.

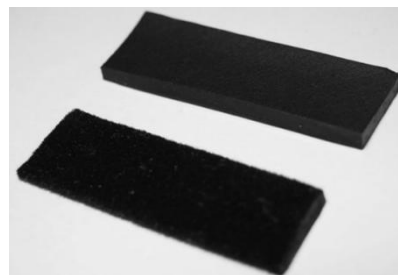
Flocking (sametování) je technologie, která vznikla už před třemi tisíci lety v Číně. V šedesátých letech 20. století bylo v USA vyvinuto samotování pryžových profilů určených pro automobilový průmysl. Tato technika povrchové úpravy dodává tvrdým materiálům měkký vzhled a teplé povrchy. Původně se používala drcená přírodní vlákna, dnes se používají monofilní syntetická vlákna obvykle polyamidová, nebo polyesterová. Postup při „flockování“ TPE profilů je dvojitý.

První možností je tzv. on-line flocking. Na vyextrudovaný profil se ihned po opuštění hubice nastříkuje rozpouštědlem zředěný reaktivní primer. Při normální teplotě vytlačování (cca 190°C) se rozpouštědlo rychle odpaří a primer se na povrchu vytvrdí teplem. Vrstva primeru na povrchu profilu je poměrně tenká (2-5µm). Poté se profil chladí ve vodní lázni, suší tzv. „vzduchovými noži“ a opatřuje nánosem jednosložkového polyuretanového lepidla. Lepidlo se nanáší buď nástřikem, nebo nátěrem. Samotná vlákna se nanášejí v elektrostatické komoře při průchodu profilu přes katodovou mřížku, přičemž vlákna jsou přiváděna ze strany anody. Anoda má kladné napětí o 60 až 80kV větší než katoda. V elektrickém poli se vlákna (jež jsou polární) samy vyrovnají s polem a zrychlí svůj pohyb směrem k profilu. Rychlost dopadu vláken na profil je cca. 1-2m/s. Zhruba 1/3 délky vlákna je zabořena v lepidle normálově k profilu, zbylé 2/3 jsou funkční. Následně profil prochází zařízením, ve kterém se lepidlo zahřeje na teplotu 138°C a částečně vytvrdí. Proces tvrzení pak probíhá za normální teploty po dobu sedmi dní.

Druhou možností je tzv. „flock tape“. V tomto případě výrobce dodává již připravenou flockovací pásku navinutou na speciální kotouče. Páska prochází přímo extruzní hubicí a je vtlačována do roztaveného TPV. Proces výroby pásky je obdobný jako při on-line flockingu s tím rozdílem, že na místo TPV profilu jsou vlákna nanášena na folii na bázi modifikovaného polyolefinu, který se dobře snáší s TPV.

V současné době je snaha tuto technologii, která měla dosud dominantní postavení v podobných aplikacích, nahradit jinou. Nanášení floků je totiž technicky náročná a nákladná operace. Díky materiálům TPE (TPV) se otevřely nové možnosti jak zajistit nízký frikční koeficient tam kde je třeba.

Slip-coating je kluzná vrstva koextrudovaná přímo s profilem. Jejím základem je TPV s přídavkem látek, které zajišťují kluzné vlastnosti (silikon, teflon, polyuretan, UHMWPE...). Při použití slip-coatingu tedy



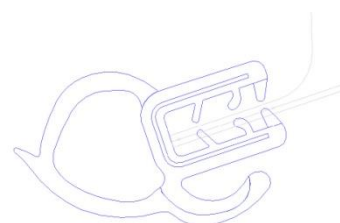
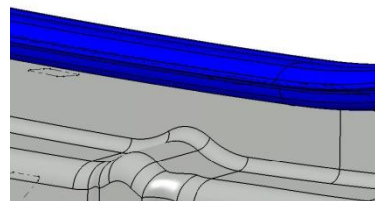
Obr.11: TPV + slipcoat (nahore),
TPV + flock (dole)

není nutné použití primeru ani jiné přípravné technologie (korona, plazma...), jako v předchozím případě. Pro jeho aplikaci je třeba pouze další dávkovací zařízení pro TPV. Slip-coating se používá jak pro kontakt profil-sklo, tak pro kontakt profil-lakovaný plech. Právě problematika druhého typu kontaktu je náplní experimentální části [5].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Problematika

Jednou z oblastí aplikace TPV je těsnění víka pátých dveří. Při jízdních zkouškách prototypových vozů bylo zjištěno opotřebení laku karoserie způsobené těsnícím profilem s povrchovou úpravou. Účelem této práce bylo najít nejvhodnější typ povrchové úpravy TPV dílů pro tuto a podobné aplikace. Naši snahou tedy bylo navodit takové podmínky, aby profil, který je v kontaktu s karoserií, byl vystaven podobným vlivům jako reálné těsnění při jízdních zkouškách.



Obr.12: Oblast víka pátých dveří+profil těsnění

3.2. Pretesty

3.2.1. Volba partnerů pro výzkum

Jako partner pro realizaci zkoušky byla zvolena vývojová zkušebna Swell, spol. s.r.o., která se, mimo jiné, zabývá také testováním strojních součástí a sestav na vibračním zařízení (dále jen shaker), se kterou jsme již v minulosti úzce spolupracovali na celé řadě nestandardních zkoušek. Tato společnost nabízí i služby v oblasti konstrukce a disponuje vlastní nástrojárnou, takže nebylo třeba hledat dalšího dodavatele přípravků.

Informace o opotřebení laku na reálných vozech, podklady pro analýzu vibračního profilu a lakování vzorků plechu proběhlo ve spolupráci se zákazníky společnosti Henniges.

Financovatelem výzkumu, dodavatelem vzorků TPV a konzultantem byla firma Henniges Hranice, s.r.o.

3.2.2. Vzorky TPV

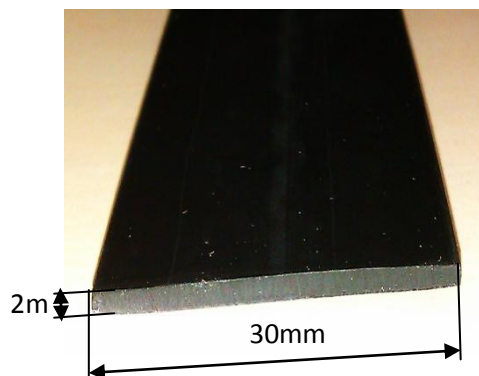
Pro řešení problému bylo třeba zvolit takový tvar vzorku, který bude snadno vyrobitelný a zároveň bude co možná nejlépe odpovídat reálnému těsnění. Byly zvoleny pásy široké 30mm o tloušťce 2mm. Na takové vzorky nebylo třeba vyrábět speciální extruzní hubici a zároveň se dala poměrně snadno regulovat kluzná, slip-coat vrstva (viz teorie).

Dělení při výrobě bylo vzhledem k rychlosti extruzního procesu 3m/min stanoveno po 1m. Pro samotnou zkoušku byly vzorky nastříhány na délku 100mm

Bylo vytipováno 7 druhů vzorků s následujícím materiálovým složením:

Tabulka 2: Charakteristika hodnocených vzorků

označení vzorku	tvrdost TPV podkladu [ShA]	slipcoat
1A	*	*
2A	*	*
3A	*	*
1B	*	*
3B	*	*
2C	*	*
3C	*	*



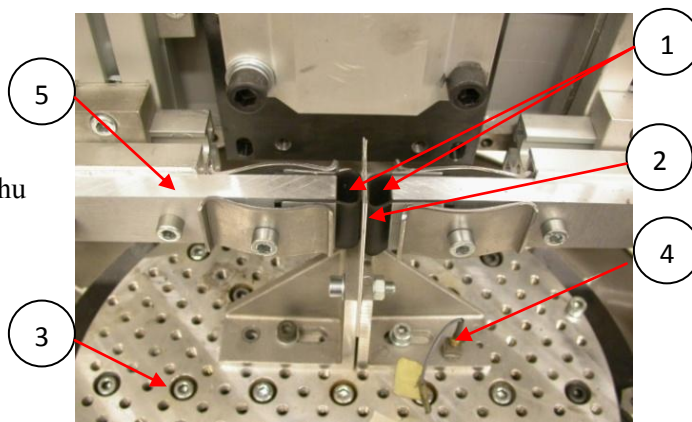
Obr.13: Vzorek TPV

3.2.3. Pretest 1

Pro první pokus byla zvolena varianta pevně uchycené dvojice TPV pásků vůči pohybujícímu se plechu. Jako vzorky lakovaného plechu byly využity pozůstatky z jiné zkoušky. Uchycení TPV bylo oboustranné s předepnutím 5mm. Zkušební přípravky nebyly rovněž speciálně konstruovány a zkouška probíhala v čistém prostředí, bez přidávání abraziva.

Hlavním účelem v této fázi bylo zjistit, zda vůbec dokážeme laboratorně způsobit opotřebení laku těsněním. Vzorky TPV byly vyrobeny v závodě Henniges na zkušební hubici pro testování vlastností extruze nových materiálů. Při použití stejné hubice pro různé tvrdosti TPV s různou kluznou vrstvou, lze velmi obtížně docílit stejných rozměrů pásky (zejména šířky) pro různý materiál. Vliv této nepřesnosti se ale později ukázal jako zanedbatelný.

- 1) Vzorky TPV
- 2) Vzorek lakovaného plechu
- 3) Upínací deska shakeru
- 4) Akcelerometr
- 5) Rám



Obr.14: Konfigurace – pretest 1

* obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.

Tabulka 3: Parametry prováděné zkoušky

Vzorek	vibrační frekvence [Hz]	amplituda [mm]	dobu zkoušky [hod]	počet cyklů [-]	celková vibrační dráha [km]	max. teplota [°C]
3A	*	*	*	*	*	*
3A	*	*	*	*	*	*
2A	*	*	*	*	*	*
1A	*	*	*	*	*	*

3.2.3.1. Průběh zkoušky

*

3.2.3.2. Způsob hodnocení

Hodnocení bylo optické a měřením drsnosti lakovaných plechů. Největší opotřebení způsobil vzorek 3A, avšak tento výsledek nebyl uznán za relevantní z výše popsanych důvodů (vysoká teplota při testu). Tato vrstva slip-coat vykazuje největší tvrdost a používá se pro těsnící jazyky, které jsou v kontaktu se sklem.

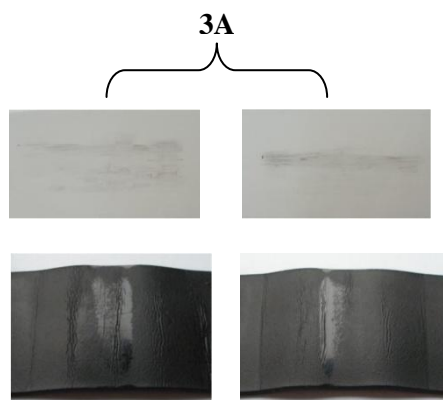
Tabulka 4: Výsledky měření drsnosti povrchu lakovaného plechu

vzorek	nový lak	drsnost Ra	
		po testu	
		min	max
3A	*	*	*
		*	*
2A	*	*	*
		*	*
1A	*	*	*
		*	*



Obr.15: Měření drsnoměrem Mitutoyo SJ210, zdroj [8]

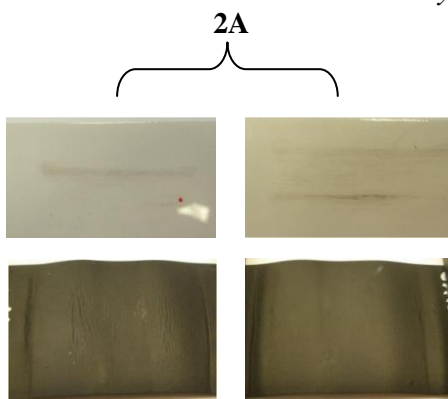
* obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.



Obr.16: Poškození laku a TPV vzorky 3A

Na horních dvou obrázcích je vidět opotřebení laku způsobené otěrem vzorku 3A.

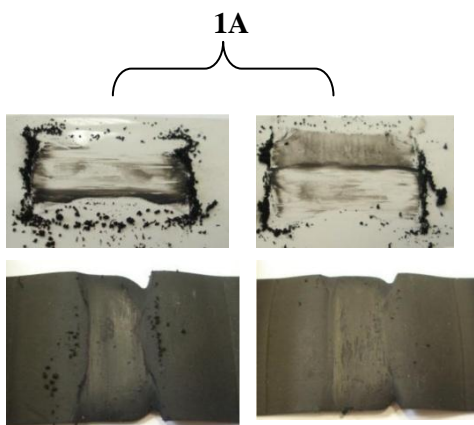
Na dolních fotografiích je vzorek TPV 3A po testu. Lesklé plochy jsou způsobeny nežádoucí vysokou teplotou (100°C), které bylo dosaženo vlivem velké amplitudy (5mm). Z tohoto důvodu nelze brát tento výstup za relevantní. Jakákoliv degradace slip-coat vrstvy je na těsnění neakceptovatelná.



Obr.17: Poškození laku a TPV vzorky 2A

Na horních dvou obrázcích je vidět opotřebení laku způsobené otěrem vzorku 2A.

Zde již byla amplituda snížena a slip-coat vrstva testování vydržela. Optické hodnocení i měření drsnosti bylo kvůli malému poškození laku poměrně komplikované. Z toho důvodu bylo rozhodnuto o použití vhodného abraziva pro pretest 2.



Obr.18: Poškození laku a TPV vzorky 1A

Na horních dvou obrázcích je vidět opotřebení laku způsobené otěrem vzorku 1A.

Poškození laku bylo sice minimální, ale vzorek během testu zdegradoval a ulpíval na plechu. Jakékoliv zašpinění karoserie je stejně jako poškození laku neakceptovatelné.

3.2.3.3. Vyhodnocení pretestu 1

Hlavním zjištěním prvního pretestu byl fakt, že i samotný profil z TPV dokáže způsobit opotřebení laku. Ostatní naměřená a vypočítaná fakta dále sloužila jen jako základ pro další testy.

3.2.3.4. Podněty k řešení vyplývající z pretestu 1

Z výsledků experimentu bylo nutné zanalyzovat do jaké míry okrajové podmínky zvolené pro pretest 1 odpovídají realitě. Konkrétně se jednalo o určení, jaké vzdálenosti ujeté při jízdních zkouškách odpovídá „navibrovaná“ vzdálenost vzorku TPV.

Dále pak otázka, jestli předpětí vyvolané oboustranným uchycení TPV není příliš vysoké, protože ve většině případů se na těsnících profilech vyskytují jazyky s jedním volným koncem. A v neposlední řadě bylo nutné najít způsob jak nákladnou zkoušku urychlit.

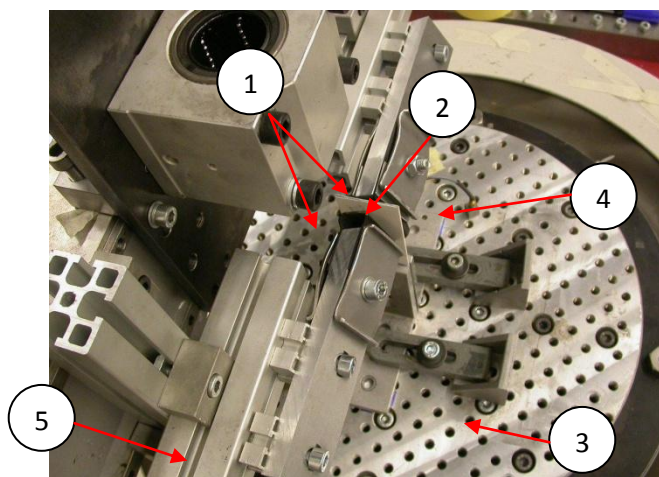
3.2.4. Pretest 2

*

3.2.4.1. Analýza vibračního profilu

*

- 1) Vzorky TPV
- 2) Vzorek lakovaného plechu
- 3) Upínací deska shakeru
- 4) Akcelerometr
- 5) Rám



Obr.19: Konfigurace – pretest 2

Tabulka 5: Parametry prováděné zkoušky

Vzorek	vibrační frekvence [Hz]	amplituda [mm]	dobu zkoušky [hod]	počet cyklů [-]	celková vibrační dráha [km]	max. teplota [°C]
2A	*	*	*	*	*	*
3A	*	*	*	*	*	*

*Abrazivo: **

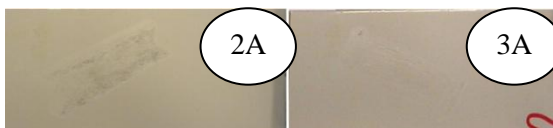
** obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.*

3.2.4.2. Průběh zkoušky

*

3.2.4.3. Vyhodnocení pretestu 2

*



Obr.20: Poškození laku v čase t_1^*



Obr.21: Poškození laku v čase t_2^*



Obr.22: Poškození laku v čase t_3^*



Obr.23: Poškození laku v čase t_4^*

3.2.4.4. Podněty k řešení vyplývající z pretestu 2

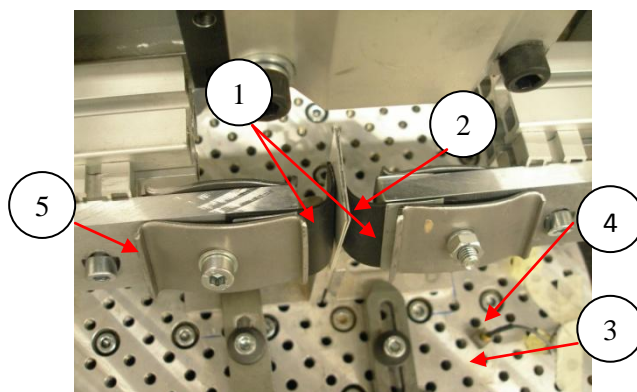
Ve druhé fázi zkoušení se podařilo zkoušku urychlit a zároveň vytvořit lépe vyhodnotitelné poškození laku. Za objekt dalšího testování bylo zvoleno alternativní uchycení TPV pásky.

3.2.5. Pretest 3

Pro pretest 3 byly TPV pásky uchyceny jednostranně. Tento typ uchycení nejlépe odpovídal těsnícím jazykům na vedení skel (viz obr. 10). Ale ani původní oboustranné uchycení nebylo daleko od reality, protože kruhový tvar profilu má například právě těsnění pátých dveří, u kterého se poškození laku objevilo.

Vzorky TPV byly stejného typu jako v pretestu 2, kvůli porovnatelnosti výsledků. Rovněž smáčení abrazivem probíhalo stejným způsobem a ve stejném složení jako v předchozím případě.

- 1) Vzorky TPV
- 2) Vzorek lakovaného plechu
- 3) Upínací deska shakeru
- 4) Akcelerometr
- 5) Rám



Obr.24: Konfigurace – pretest 3

* obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.

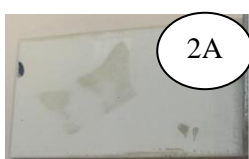
Tabulka 6: Parametry prováděné zkoušky

Vzorek	vibrační frekvence [Hz]	amplituda [mm]	dobu zkoušky [hod]	počet cyklů [-]	celková vibrační dráha [km]	max. teplota [°C]
2A	*	*	*	*	*	*
3A	*	*	*	*	*	*

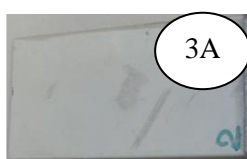
*Abrazivo: **

3.2.5.1. Průběh zkoušky

*



Obr.25: Poškození laku v čase t_1^*



Obr.26: Poškození laku v čase t_2^*



Obr.27: Poškození laku v čase t_3^*



Obr.28: Poškození laku v čase t_4^*

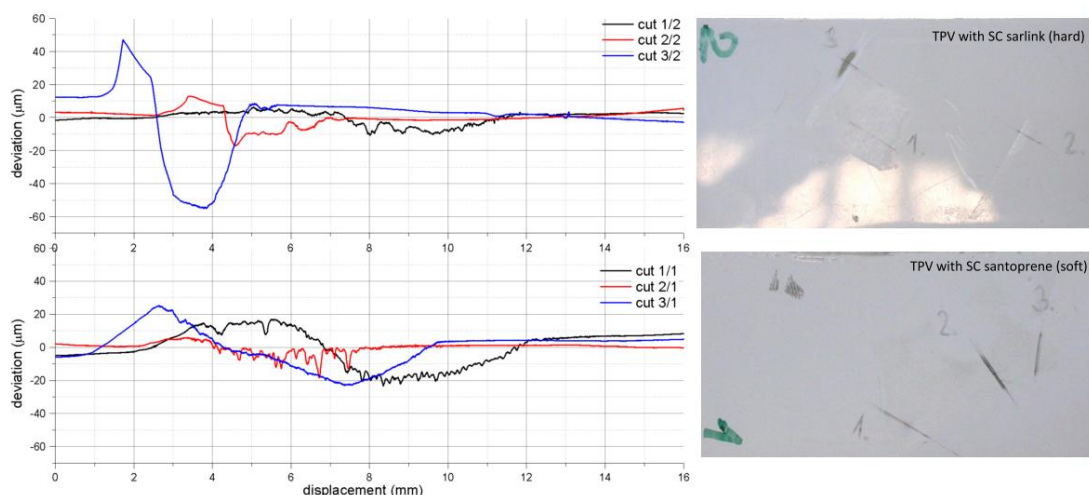


3.2.5.2. Vyhodnocení pretestu 3

Z fotografií je zřejmé, že délka zkoušky neměla na poškození laku zásadní vliv. Na žádném místě se nepodařilo probrousit lak až na plech. Tmavá místa jsou základní lak.

Tentokrát bylo provedeno zkušební měření profilu poškození pomocí upraveného zařízení na měření drsnosti. Ke standardnímu drsnoměru byla přidána paměťová karta. Výsledky ovšem ukázaly, že zařízení primárně vždy upravuje získaná data pro výpočet R_a , nebo R_z . Grafický záznam průběhu je touto skutečností ovlivněn a nedává tedy relevantní údaje. Ukázka záznamu je v grafu 3. Nesprávnost průběhu poškození je vidět v počátečním nárůstu. Pokud by se jednalo o „nahrnutí“ laku způsobené tlakem od TPV, musela by stejná oblast vzniknout na opačném konci křivky, tj. tam kde hrot drsnoměru vybíhá z poškozené oblasti. Tam ovšem podobný jev nenastal. Proto byla metoda měření profilu poškození zavrhnuta a v hlavním testu se numericky hodnotila pouze drsnost R_a , R_z .

** obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.*



Graf3: Měření profilu poškození

* pozn.: problematická oblast je mezi 2-4mm ujeté vzdálenosti hrotu. Na obrázcích vpravo je znázorněna trajektorie jednotlivých měření.

3.3. Testy

3.3.1. Poznatky z pretestů, otázky k řešení

První fáze zkoušení byla časově i finančně náročná a úkolem pro hlavní testování bylo maximální využití získaných zkušeností. Nejdůležitější informace, které vyplynuly z pretestů by se daly shrnout do následujícího výčtu:

- způsob uchycení TPV pásku
- tvar vibračního profilu
- amplituda a frekvence vibrací
- doba zkoušky
- použití abraziva
- optické vyhodnocování
- měření drsnosti povrchu lakovaného plechu

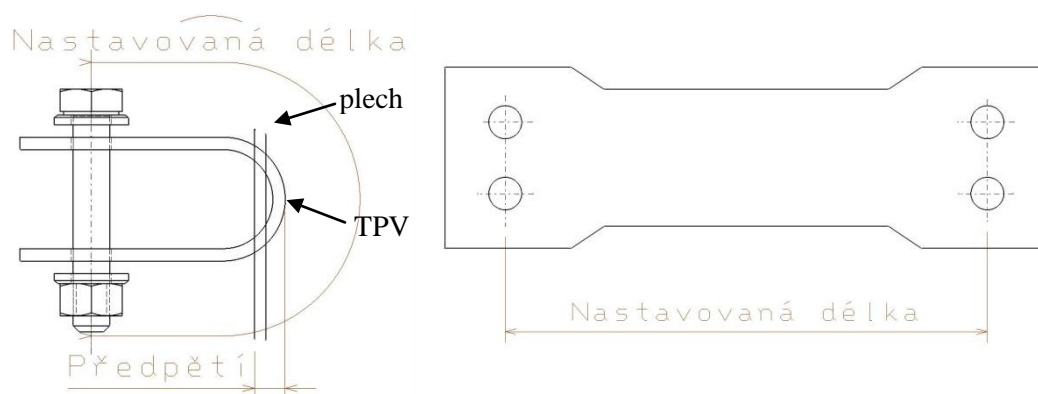
Významnou problematikou, která je pro porovnávací komponentní zkoušky důležitá je opakovatelnost podmínek testu. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o vytvoření návrhu, konstrukci a vyrobení zkušebního přípravku.

3.3.2. Návrh a konstrukce zkušebního přípravku

Z důvodu zefektivnění zkoušky bylo nutné navrhnout takový přípravek, který umožní testování více párů vzorků TPV vzorků najednou. Tento požadavek byl omezen zejména průměrem upínacího kotouče shakeru, který činil 350mm. S ohledem na montovatelnost přípravku a aplikaci abraziva byl počet vzorků stanoven na 5 párů.

Problematika upevnění přípravku nad shaker byla částečně vyřešena pomocí stávajícího rámu ve vlastnictví společnosti Swell a posuvných konzolí.

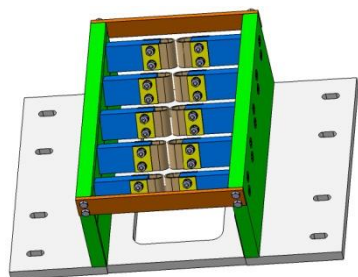
Další otázkou byl způsob nastavování předpětí pásků vůči plechu. Vzhledem k obtížnému měření těchto sil bylo předpětí generováno rozdílem vzdáleností mezi plechem a držákem plechu v nestlačeném a stlačeném stavu (viz pretest 1). S ohledem na finanční náročnost byl přípravek navržen jako pevný (nestavitelný). Požadované předpětí 15mm bylo ve výsledku řízeno délkou TPV vzorku (viz obr. 29). Problematika přípravy vzorků bude popsána v dalším textu.



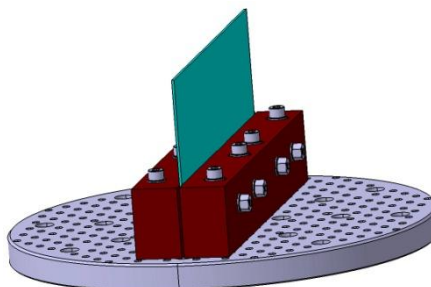
Obr.29: Nastavovaná délka TPV vzorku

Z hlediska výrobní přesnosti byla nedůležitější vzdálenost čel držáků TPV, která musela být pro všech 5 párů stejná. Proto bylo pro ustavení bočních upínacích desek použito kolíkového spoje, který tyto vlastnosti je schopen zajistit. Ostatní rozměry byly tolerovány dle normy ISO 2768-fH. Do budoucna se pro zachování přesnosti nepočítalo s rozebíráním horní části přípravku. Tzn. horní desky od bočních upínacích desek.

Montáž na shaker probíhala následovně: Nejprve se na demontovanou horní část (obr. 30) upevnily TPV vzorky a na upínací desku shakeru se pomocí držáku připevnil zkušební plech (obr. 31). Následně se horní část pomocí ustavovacích plechů (obr. 33) vsunula na plech a připevnila šrouby ke konzolím rámu.

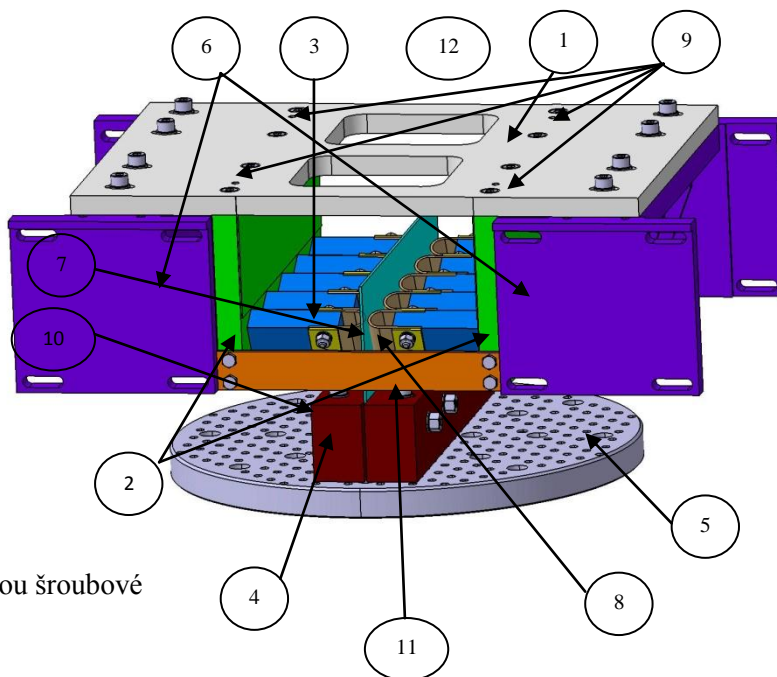


Obr.30: Horní díl-poloha pro namontování vzorků TPV

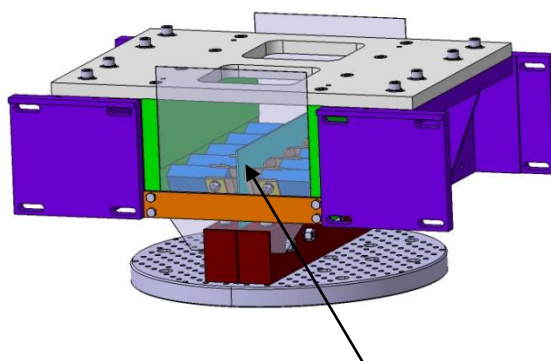


Obr.31: Spodní díl-uchycení na upínací desku shakeru

- 1) horní deska
- 2) boční upínací desky
- 3) držák TPV
- 4) držák plechu
- 5) upínací kotouč shakeru
- 6) posuvné konzole
- 7) vzorek lakovaného plechu
- 8) vzorek TPV
- 9) kolíkové spoje
- 10) přitlačné plechy
- 11) vzpěry
- 12) * všechny ostatní spoje jsou šroubové



Obr.32: Zkušební přípravek



Obr.33: Přípravek s ustavovacím plechem

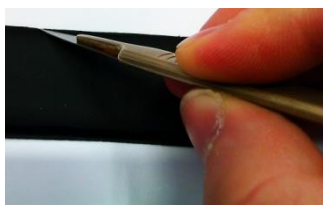
3D model a výkresová dokumentace (viz přílohy) byly vytvořeny v programu Catia V5 R19. Konzultace ohledně výrobních tolerancí, použitém materiálu, výrobní technologii a výroba přípravku proběhla v nástrojárně firmy Swell. Samotný přípravek je ve vlastnictví firmy Henniges a bude dále sloužit pro zkoušení povrchových úprav TPV a EPDM.

Horní deska, boční upínací desky a držáky TPV jsou z hliníku. Ostatní díly jsou ocelové. Z výrobních technologií bylo použito frézování, vrtání a vypalování laserem. Vzorky plechu byly nalakovány v lakovně Škoda sériovou technologií pro lakování vnější karoserie vozu. Spojovací materiály (šrouby a kolíky) byly normalizované a běžně dostupné.

3.3.3. Příprava TPV vzorků

Jak již bylo popsáno, nastavování předpětí TPV vzorků vůči plechu bylo řízeno délkou vzorku. Za účelem dosažení maximální možné přesnosti byl nakonstruován a vyroben další přípravek. Ten sloužil jednak pro přesné dělení pásků, ale také pro vystřížení děr pro upínací šrouby.

Dalším problémem byla šířka pásku. Extruze proběhla z časových důvodů pro všechny tvrdosti základního TPV přes stejnou vytlačovací hubici. Vlivem různého smršťování různých typů TPV nebylo dosaženo stejné šířky všech pásků. Proto bylo nutné stejnou šířku vytvořit ručně (viz obr. 34). Nakonec se jako neoptimálnější jevil podobný tvar, jako mají vzorky plechu pro zkoušku tahem (viz obr. 35).



Obr.34: Ruční úprava vzorku



Obr.35: Optimální tvar vzorku

Zároveň se touto operací částečně vyřešila další komplikace a to zdvižené rohy. U TPV se slipcoatem se rohy zdvihaly i v narovnaném stavu (viz obr. 33). Při nasazení na přípravek se tedy dostaly do kontaktu s plechem jako první a celá zkouška tím byla značně zkreslena. Jinak jsou zdvižené rohy způsobeny nahromaděním napětí při ohnutí vzorku pokaždé. Nejefektivnějším způsobem jak zmíněný jev eliminovat bylo podbroušení vzorku z rubové strany právě v místě ohybu (obr.37). Jedině díky těmto úpravám se podařilo docílit cca plošného kontaktu mezi TPV vzorkem a lakovaným plechem.

Práce s TPV je tím komplikovanější, čím je menší jeho tvrdost. Zejména při podbroušování je velmi dobře patrný rozdíl mezi materiálem o tvrdosti 25ShA a 75ShA. Drahým, ale účinným opatřením pro přípravu vzorků na zkoušky abraze by byla speciální hubice, která by již při vytlačování pásku s výše popsanými komplikacemi počítala.



Obr.36: Zdvižené rohy-volný stav



Obr.37: Zdvižené rohy-ohyb

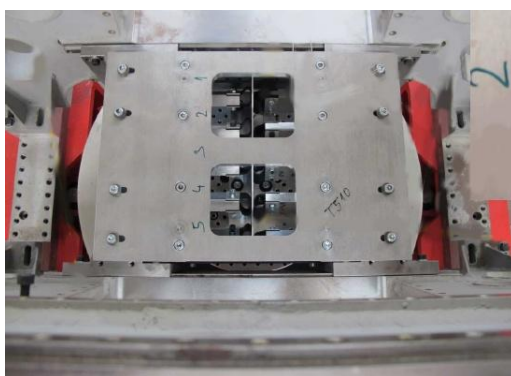


Obr.38: Podbrušování vzorků

3.3.4. Test I

Tabulka 7: Parametry prováděné zkoušky

Vzorek	vibrační frekvence [Hz]	amplituda [mm]	dobu zkoušky [hod]	počet cyklů [-]	celková vibrační dráha [km]	max. teplota [°C]
3A	*	*	*	*	*	*
1B	*	*	*	*	*	*
3B	*	*	*	*	*	*
2C	*	*	*	*	*	*
3C	*	*	*	*	*	*



Obr.39: Zkušební přípravek, pohled zhora



Obr.40: Zkušební přípravek, pohled zhora, detail

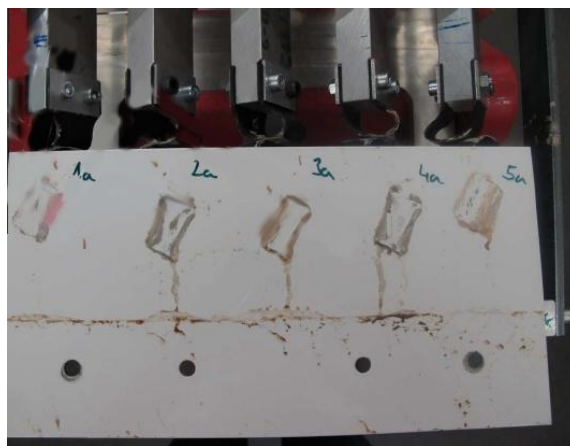
* obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.

3.3.4.1. Průběh testu

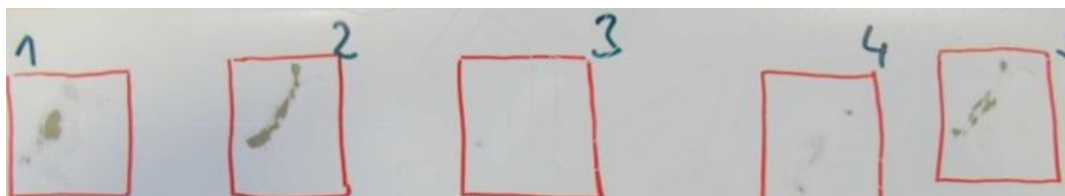
Konfigurace, zkušební parametry a princip hodnocení byly stanoveny. Rovněž zkušební přípravky a vzorky byly nakonstruovány a vyrobeny a nyní bylo úkolem vše sestavit. Ukázalo se, že s drobnými úpravami lze přípravek smontovat. Vodící plechy pro vystředění kompletního horního dílu také zafungovaly.

Jedním z negativních faktorů, který ovšem vykazovaly všechny vzorky, bylo vyhnutí do strany. Do určité míry to mělo za následek zkreslení hodnoty předpětí vůči plechu, ale tato konfigurace nenabízela možnost protipatření. Do budoucna však bude třeba nějaké řešení najít. Další komplikací pak může způsobit fakt, že ne vždy budou k dispozici vzorky takto ideálního tvaru.

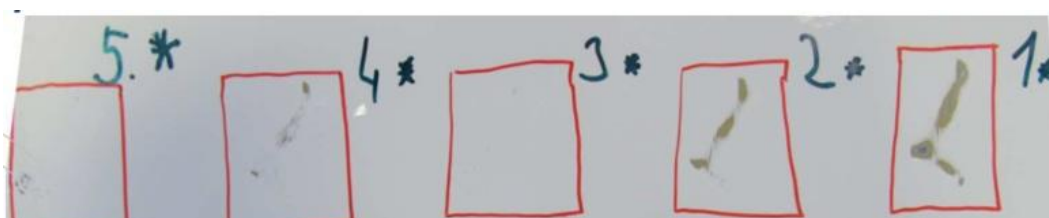
Test probíhal obdobně jako v minulých případech. Abrazivní směs byla aplikována na kontaktní plochy skrze otvory v horní desce. Nakonec byl přípravek odstrojen a byly pořízeny fotografie opotřebení. Poté byly zkoušené plechy opláchnuty vodou, osušeny a znovu nafoceny. Následně byla změřena drsnost opotřebovaných míst.



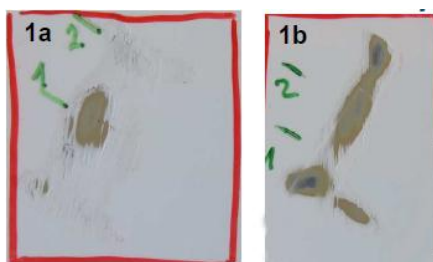
Obr.41: Plech před očištěním



Obr.42: Opotřebení plechu - strana A

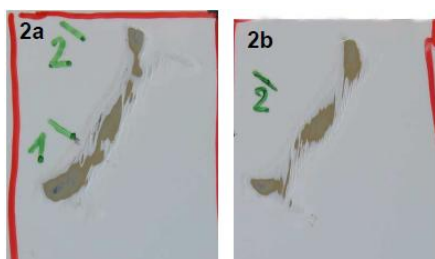


Obr.43: Opotřebení plechu - strana B



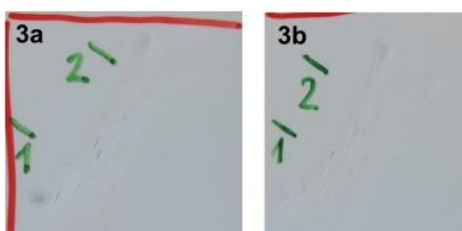
Obr.44: Detail opotřebení od vzorku 3B

Na fotografii je zachyceno výrazné opotřebení laku. Šedé oblasti jsou prosvítající pozinkovaný plech. Můžeme pozorovat rozdíl v poškození strany A a B. Pro tento opakující se jev nebylo nalezeno vysvětlení. Vzorky jiné tvrdosti než této tvrdosti jej nevykazovaly.



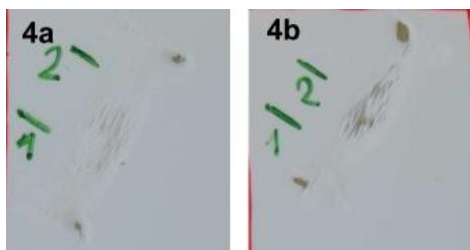
Obr.45: Detail opotřebení od vzorku 3A

Zde vidíme opět velmi rozsáhlé poškození laku, ale do menší hloubky než u vzorku 1. Běžové oblasti jsou základní lak. Poškození je na obou stranách podobné.



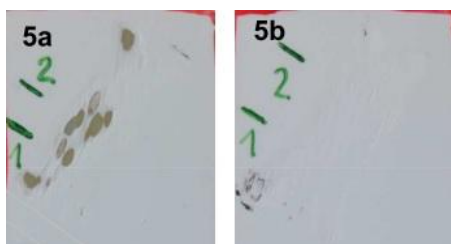
Obr.46: Detail opotřebení od vzorku 2C

Zde bylo poškození laku nejmenší. Téměř v žádném místě nebyla odkryta základní vrstva.



Obr.47: Detail opotřebení od vzorku 3C

I v tomto případě bylo dosaženo relativně uspokojivého výsledku. Výrazněji vybroušená místa jsou způsobena zdviženými rohy (viz výše).



Obr.48: Detail opotřebení od vzorku 1B

Zde se opět objevilo nesteré opotřebení na straně A a B. Přestože se jedná o vzorek bez SC o značné tvrdosti, tak dosáhl na straně B velmi dobrého výsledku.

Tabulka 8: Naměřené drsnosti povrchu lakovaného plechu

vzorek	Strana A				Strana B			
	měření 1		měření 2		měření 1		měření 2	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
3B	3,594	18,129	3,130	22,325	2,686	13,599	2,759	13,839
3A	2,083	11,261	2,302	10,412	2,033	9,711	1,764	9,821
2C	1,455	7,817	1,240	7,790	1,078	11,407	1,633	11,609
3C	2,866	18,445	1,181	6,416	1,415	9,754	3,589	23,003
1B	2,971	16,909	3,254	17,568	1,628	9,188	2,142	14,046

*pozn.: žlutě nejmenší drsnost, červeně největší

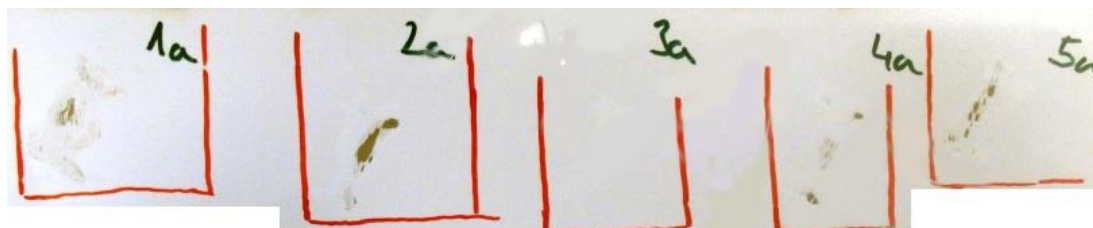
**drsnost neodřené laku byla naměřena Ra 0,106, Rz 0,494

3.3.4.2. Vyhodnocení testu I

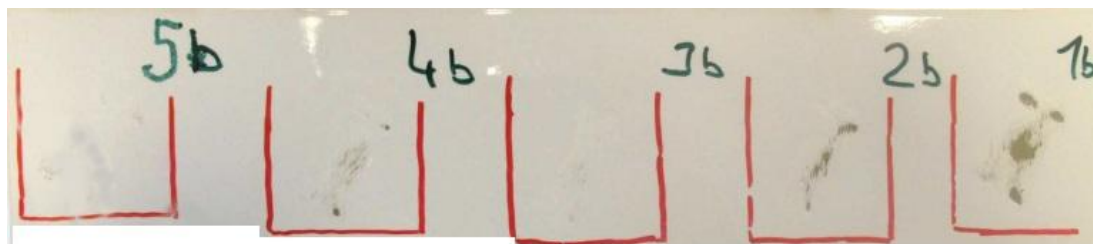
Bylo zjištěno, že optické posouzení a výsledky z drsnoměru nejsou zcela jednoznačné. Je to dáno samotným principem měření, kdy nelze zcela postihnout celou plochu odřené místa. Nicméně i přes tento fakt byly optické rozdíly mezi jednotlivými vzorky jasně patrné a bylo možné jednoznačně určit nejlepší výsledek. Toho dosáhl vzorek 2C a tím pádem jeho materiálové složení bylo stanoveno jako ideální pro aplikaci na těsnící jazyky v kontaktu s karoserií. Z důvodu ověření opakovatelnosti však bylo rozhodnuto o provedení téhož testu ještě jednou.

3.3.5. Test II

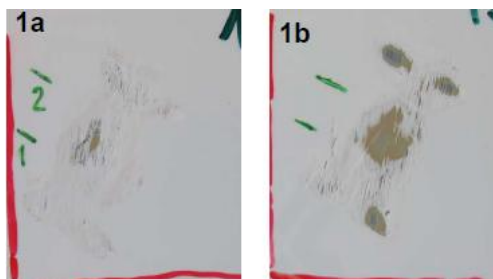
Parametry a průběh zkoušky byly stejné jako v testu I. Stejně tak vzorky byly stejného typu. Parametry testu viz tabulka 8.



Obr.49: Opotřebení plechu - strana A

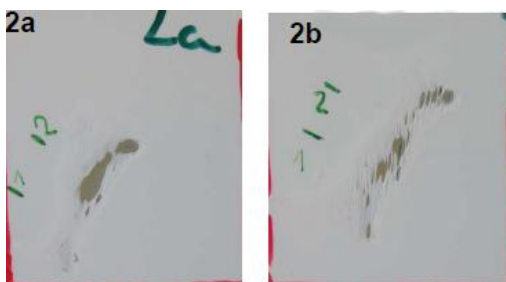


Obr.50: Opotřebení plechu - strana B



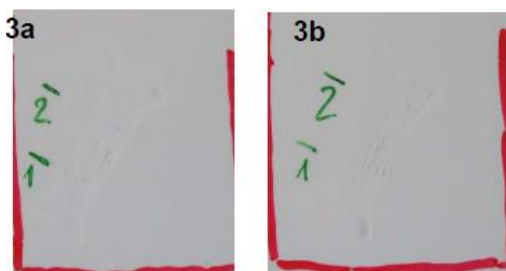
Obr.51: Detail opotřebení od vzorku 3B

Na fotografiích lze pozorovat výrazné poškození laku. Na obrázku vpravo je rovněž dobře patrná oblast opotřebení od zdvižených rohů.



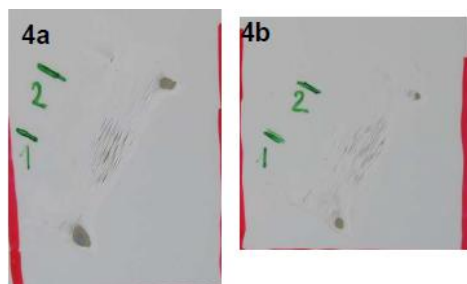
Obr.52: Detail opotřebení od vzorku 3A

Zcela odbroušena byla pouze vrchní vrstva laku. Prosvítající oblasti jsou základní lak.



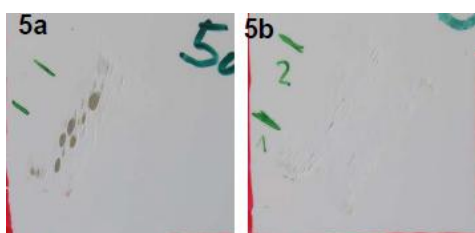
Obr.53: Detail opotřebení od vzorku 2C

Vzorek 3B opět dosáhl nejlepšího výsledku. Opotřebení laku bylo i přes velmi agresivní prostředí minimální.



Obr.54: Detail opotřebení od vzorku 3C

Rovněž druhý zástupce této tvrdosti dosáhl opakovaně dobrých výsledků. Můžeme pozorovat vliv zdvižených jazyků zejména na obrázku vlevo.



Obr.55: Detail opotřebení od vzorku 1B

Nejtvrdší materiál opět dosáhl na jedné straně velice dobrého výsledku. Na straně A se opět objevili vydržené „ostrůvky“ pro něž se nepodařilo najít uspokojivé vysvětlení.

Tabulka 9: Naměřené drsnosti lakovaného plechu

vzorek	Strana A				Strana B			
	měření 1		měření 2		měření 1		měření 2	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
3B	2,760	16,097	2,023	11,785	4,355	23,958	3,403	18,195
3A	0,854	7,048	2,329	12,252	3,546	19,893	2,180	12,229
2C	1,532	10,852	1,699	9,896	1,737	11,641	1,838	14,066
3C	3,278	24,351	1,731	10,893	2,460	20,256	2,438	17,865
1B	6,034	22,331	3,794	18,182	2,857	17,857	1,798	10,761

* pozn.: žlutě nejmenší drsnost, červeně největší

** drsnost neodřenému laku byla naměřena Ra 0,106, Rz 0,494

3.3.5.1. Vyhodnocení testu II

Opticky i měřením drsnosti bylo dokázáno, že výsledky jsou opakovatelné a dají se považovat za relevantní pro praktické aplikace. Nejlepších výsledků opět dosáhl vzorek 2C.

4. HODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

4.1. Vyhodnocení pretestů

4.1.1. Pretest 1

Předmětem testování bylo ověření, zda je možné v laboratorních podmínkách docílit poškození laku vzorkem TPV působením vibrací. Pomocí dočasného přípravku bylo dokázáno, že určité poškození vygenerovat lze. Hodnocení proběhlo opticky a měřením drsnosti povrchu. Prostředí bylo čisté.

- Maximální dosažená drsnost*: 0,416 Ra (vzorek 3A), (vliv teploty, viz str.19)
- Minimální dosažená drsnost*: 0,035 Ra (vzorek 2A)
- Největší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 3A, (vliv teploty, viz str.19)
- Nejmenší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 2A
- Maximální počet zkoušených párů TPV najednou: 1
- Celkový počet zkoušených párů: 3
- Maximální doba zkoušky: **

* orientační údaje, nebylo cílem zkoušky

** obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.

4.1.2. Pretest 2

Cílem pretestu 2 bylo nákladnou zkoušku urychlit. Proto bylo zavedeno aplikování abrazivní směsi na kontaktní plochy. Zároveň proběhla analýza vibračního profilu byla upravena poloha vzorku TPV vůči plechu. Zmíněnými úpravami se podařilo zkoušku výrazně zkrátit proti pretestu 1. Po této zkoušce nebyla měřena drsnost.

- Největší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 2A
- Nejmenší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 3A
- Maximální počet zkoušených párů TPV najednou: 1
- Celkový počet zkoušených párů: 2
- Doba zkoušky: **

4.1.3. Pretest 3

Cílem pretestu 3 bylo vyzkoušet jednostranné uchycení TPV pásku. Smáčení abrazivem probíhalo stejně jako v minulém případě. Rovněž byl proveden pokus o změření profilu poškození. Ani jeden z testovaných parametrů se neukázal jako smysluplný pro další testy.

- Největší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 2A
- Nejmenší opotřebení (hodnoceno opticky)*: od vzorku 3A
- Maximální počet zkoušených párů TPV najednou: 1
- Celkový počet zkoušených párů: 2
- Doba zkoušky: **

4.2. Vyhodnocení testů

4.2.1. Test I

Cílem testu bylo z 5 zkoušených párů vzorků TPV vybrat ten s nejvhodnějším materiálovým sloužením pro aplikaci na těsnící jazyky v kontaktu s karoserií. Zkouška proběhla na speciálním zkušebním přípravku. Parametry byly nastaveny na základě výsledků z pretestů.

- Maximální dosažená drsnost: 3,594 Ra (vzorek 3B)
- Minimální dosažená drsnost: 1,078 Ra (vzorek 2C)
- Největší opotřebení (hodnoceno opticky): od vzorku 3B
- Nejmenší opotřebení (hodnoceno opticky): od vzorku 2C
- Maximální počet zkoušených párů TPV najednou: 5
- Doba zkoušky: **

** orientační údaje, nebylo cílem zkoušky*

*** obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.*

4.2.2. Test II

Cílem testu opět bylo z 5 zkoušených párů vzorků TPV vybrat ten s nejvhodnějším materiálovým složením pro aplikaci na těsnící jazyky v kontaktu s karoserií. Zkouška měla ověřit opakovatelnost výsledků v dané konfiguraci.

- Maximální dosažená drsnost: 6,034 Ra (vzorek 1B)
- Minimální dosažená drsnost: 0,854 Ra (vzorek 3A)
- Největší opotřebení (hodnoceno opticky): od vzorku 3B
- Nejmenší opotřebení (hodnoceno opticky): od vzorku 2C
- Maximální počet zkoušených párů TPV najednou: 5
- Doba zkoušky: **

*** obsah je předmětem připravovaného Užitého vzoru na základě Smlouvy o výzkumné spolupráci mezi TUL a Henniges Hranice s.r.o. a bude představen při obhajobě bakalářské práce.*

5. ZÁVĚR

Sérii pretestů byla postupně naladěna taková konfigurace zkoušky, která v maximální možné míře simuluje reálné chování dynamického těsnění karoserie při jízdě autem. Zároveň byla metodika stanovena tak, aby zkouška nebyla příliš nákladná a pracná.

Dále bylo testováno několik způsobů vyhodnocování výsledného opotřebení laku karoserie. Nejoptimálnější bylo porovnávací hodnocení optické. Z ostatních metod se nejvíce osvědčilo měření drsnosti povrchu, ale v principu nelze vždy dosáhnout stejného výsledku jako při optickém porovnávání. Vlivem drobných odchylek při testování (např.: popisované zdvižené rohy) mohou být některé hodnoty drsnosti zavádějící. Proto bude v dalších testech nezbytné výše zmíněné metody kombinovat.

Pro zajištění opakovatelnosti a možnosti testování více vzorků najednou byl nakonstruován a vyroben přípravek. Na něm posléze proběhly 2 identické testy 5 párů TPV o různé tvrdosti a kluzné vrstvě. Bylo dokázáno, že metodika zkoušky i zkušební zařízení s přípravky jsou zvoleny správně. Materiálové složení výsledného, nejlépe hodnoceného vzorku 2C bude navrženo pro výrobu reálného prototypu těsnícího jazyka.

Není možné s určitostí tvrdit, že „vítězné“ materiálové složení později skutečně najde uplatnění v aplikaci na sériově vyráběných profilech. Nicméně doposud neexistovala žádná možnost jak ověřit vliv jazyků na otěr karoserie dříve než s reálnými díly na prototypovém voze. Domnívám se, že v tomto smyslu bude tato práce značným přínosem.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Prokopová, *Makromolekulární chemie*, VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, vydání 2., vydavatelství VŠCHT Praha
- [2] Mleziva J., Kálal J., *Základy makromolekulární chemie*, vydání 1., vydavatelství SNTL
- [3] Ruflová D., *Termoplastické elastomery, Termoplastické vulkanizáty*, (situační zpráva), vydal Institut pro testování a certifikaci, a.s. v rámci Sdruženého úkolu “Gumárenské suroviny a pryžové materiály“ v souladu se smlouvou o dílo pro rok 2009
- [4] Martinek M., *Měření tvrdosti polymerů*, (bakalářská práce), UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, dostupné na:
http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11092/martinek_2010_bp.pdf?sequence=1,
on-line, citace [12.5.2012]
- [5] Lovecká L., *Povrchová úprava profilů pro automobilový průmysl*, (situační zpráva), vydal Institut pro testování a certifikaci, a.s. v rámci Sdruženého úkolu “Gumárenské suroviny a pryžové materiály“ v souladu se smlouvou o dílo pro rok 2006
- [6] <http://www.nanodeltech.com>, on-line, citace [12.5.2012]
- [7] <http://www.hennigeshranice.com/materialy>, on-line, citace [12.5.2012]
- [8] <http://www.technikaatrh.cz/aktuality/uvedeni-na-trh-drsnomeru-rady-sj-210-novy-standard-v-oblasti-prenosnych-drsnomeru>, on-line, citace [12.5.2012]

7. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres sestavy zkušebního přípravku
2. Výkres horní desky zkušebního přípravku
3. Výkres upínací desky zkušebního přípravku
4. Výkres výztuhy zkušebního přípravku
5. Výkres držáku plechu – pravý díl
6. Výkres držáku plechu – levý díl
7. Výkres vzorku lakovaného plechu
8. Výkres držáku TPV
9. Výkres přítlačné desky
10. Výkres vzorku TPV
11. Výkres ustavovacího plechu